

Organisches elektronisches Bauteil mit hochaufgelöster Strukturierung und Herstellungsverfahren dazu

5

Die Erfindung betrifft ein organisches elektronisches Bauteil mit hochaufgelöster Strukturierung, insbesondere einen organischen Feld-Effekt-Transistor (OFET) mit kleinem Source-
10 Drain-Abstand und ein massenfertigungstaugliches Herstellungsverfahren dazu.

Die Schaltfrequenz und/oder die Schaltgeschwindigkeit integrierter digitaler Schaltungen wird nicht zuletzt von der Kanallänge "l" maßgeblich beeinflusst. Es hat deshalb nicht an
15 Versuchen gefehlt, diese Kanallänge möglichst klein zu halten, das heißt einen Chip für ein organisches elektronisches Bauteil zu schaffen mit möglichst hoch aufgelöster Strukturierung.

20

Bekannt sind organische elektronische Bauteile, insbesondere OFETs mit hochaufgelöster Strukturierung und kleinem Source-Drain-Abstand „l“. Bislang werden diese jedoch in aufwendigen Prozessschritten, die mit hohen Kosten verbunden sind, hergestellt.
25 Diese Prozessschritte sind unwirtschaftlich und umfassen regelmäßig Fotolithographie, wobei Vertiefungen in einer unteren Schicht oder im Substrat fotolithographisch erzeugt werden, damit eine Leiterbahn mit der erforderlichen Kapazität gebildet werden kann. Diese Vertiefungen sind muldenförmig und haben keine scharfen Konturen. Der Boden dieser
30 Vertiefungen bleibt unverändert.

Aus der DE 10061297.0 ist zwar ein großtechnisch anwendbares hochauflösendes Druckverfahren bekannt, bei dem die Leiterbahnen in Vertiefungen eingebracht werden, jedoch hat das den
35 Nachteil, dass die Vertiefungen, die durch Aufdrücken eines Prägestempels entstehen, keine steilen Wandflächen und scharf

gezogene Kanten haben, sondern mehr muldenförmig und ohne scharfe Konturen ausgebildet sind. Als Folge dieser weichen Übergänge füllt das in die Vertiefung eingebrachte Material nicht akkurat nur die Vertiefung, sondern es verwischt um die Vertiefung herum und führt damit zu Leckströmen. Das verschmierte Material lässt sich in der Folge auch nicht abwischen, ohne einen Großteil des Materials wieder aus der Vertiefung herauszuwischen.

10 Aufgabe der Erfindung ist es, ein großtechnisch und günstig herstellbares elektronisches Bauteil aus vorwiegend organischem Material, insbesondere einen OFET mit einer hochauflösten Struktur und einem kleinen Source-Drain-Abstand, zu schaffen.

15

Lösung der Aufgabe und Gegenstand der Erfindung ist ein elektronisches Bauelement aus vorwiegend organischem Material, ein Substrat, zumindest eine Leiterbahn und/oder Elektrode umfassend, wobei die zumindest eine Leiterbahn und/oder Elektrode aus leitfähigem Material ist und auf einer Auflagefläche aufgebracht ist, deren Oberfläche durch Laserbehandlung modifiziert und/oder aufgeraut ist.

20

Außerdem ist Gegenstand der Erfindung ein organisches elektronisches Bauteil, bei dem zumindest eine Leiterbahn und/oder eine Elektrode in einer Vertiefung einer unteren Schicht angeordnet ist, wobei die Vertiefung mittels eines Lasers erzeugt wurde das heißt, dass sie steile Wände, scharfe Konturen und eine raue Bodenoberfläche hat.

30

Schließlich ist Gegenstand der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines organischen elektronischen Bauteils, bei dem zur Herstellung einer Leiterbahn und/oder einer Elektrode eine untere Schicht und/oder das Substrat mit einem Laser behandelt wird, so dass zumindest eine Vertiefung und/oder ein modifizierter Bereich in einer unteren Schicht und/oder dem

35

Substrat zu finden ist, wobei die Vertiefung steile Wände, scharfe Konturen und eine raue Oberfläche am Boden hat.

Nach einer Ausführungsform der Erfindung ist der Abstand "l" zwischen zwei Elektroden oder zwischen einer Elektrode und einer Leiterbahn kleiner 20µm. Das entspricht einer hohen Auflösung der Strukturierung, die besonders bevorzugt sogar unter 10 µm, insbesondere noch kleinere µm beträgt. Durch die Erfindung werden Leckströme zwischen den Leiterbahnen und/oder Elektroden vermieden und deshalb kann der Abstand "l" dazwischen minimiert werden.

Nach einer Ausführungsform des Verfahrens wird überschüssiges leitfähiges Material in einem auf die Aufbringung des Materials und/oder die Befüllung der Vertiefungen mit diesem Material folgenden Prozessschritt mechanisch entfernt, also beispielsweise abgewischt, ohne dass dabei leitfähiges Material aus dem aufgerauten Bereich und/oder aus der Vertiefung mit dem aufgerauten Boden in merklichem Umfang wieder entfernt würde.

Das Aufbringen des leitfähigen Materials und/oder die Befüllung der Vertiefungen kann nach verschiedenen Techniken erfolgen: Es kann aufgedampft, aufgesputtert, besprüht, eingekalkelt, eingespritzt, beschichtet, bedruckt oder sonst wie erfindungsgemäß aufgebracht und/oder eingefüllt werden.

Nach einer Ausführungsform des Verfahrens wird die untere Schicht und/oder das Substrat mit einem gepulsten Laser, beispielsweise mit Pulslängen von einigen 10 ns, behandelt. Dabei können bereits wenige Pulse ausreichen.

Die durch Laserstrukturierung erzeugten modifizierten und/oder aufgerauten Bereiche und/oder Vertiefungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Auflagefläche für das leitfähige Material mit Laser behandelt wurde. Dadurch unterscheiden sich modifizierte Bereiche und/oder Vertiefungen, die mit La-

ser erzeugt werden von den Bereichen und/oder Vertiefungen, die nicht oder beispielsweise durch Einprägen behandelt wurden, wo sich bei letzterem das überflüssige leitfähige Material, das um die Vertiefung herum verteilt ist, nicht ohne
5 große Verluste abwischen lässt.

Für den Fall, dass die Austrittsarbeit (bezogen auf den Halbleiter) des leitfähigen Materials für das geplante elektronische Bauteil passend ist, wird das überschüssige Material
10 einfach auf den nicht durch Laser veränderten Bereichen der unteren Schicht und/oder des Substrats entfernt, beispielsweise mechanisch (durch Wischen mit Tüchern und/oder einer Gummirolle) und die Strukturierung ist abgeschlossen.

15 Falls die Austrittsarbeit nicht auf den Halbleiter abgestimmt ist, kann zusätzlich z.B. eine schlecht leitende Schicht aufgebracht werden, deren Überschuss ebenfalls mit einer mechanischen Methode wieder entfernt werden kann. Die Kombination dieser beiden leitfähigen Schichten als Elektrode oder als
20 Leiterbahn hat nun eine große Leitfähigkeit und besitzt die passende Austrittsarbeit.

Die Strukturierung der untersten (unteren) leitfähigen Schicht (Schichten) kann zeitlich sofort nach deren Auftra-
25 gung erfolgen, sie kann auch gleichzeitig mit der Strukturierung der oberen Schichten geschehen.

Die Strukturierung der unteren Schichten kann ebenfalls nachträglich, nach der Strukturierung der oberen leitfähigen
30 Schichten erfolgen (z.B. kann eine obere bereits strukturierte Schicht als Ätzwiderstand dienen).

Der Begriff "leitfähiges Material" soll hier in keiner Weise eingeschränkt werden, da ganz verschiedene Arten von leitfähigen Materialien an der Stelle bereits erfolgreich einge-
35 setzt wurden.

Als leitfähiges Material kann beispielsweise ein Metall, eine Legierung, eine Metallpaste oder eine organische leitfähige Verbindung aufgedampft, aufgesputtert oder eingerakelt oder sonst wie aufgebracht werden. Entscheidend ist nur, dass das
5 eingebrachte leitfähige Material auf der vom Laser aufgerauten Oberfläche haftet.

Als bevorzugte Metalle werden Silber, Gold, Aluminium, Kupfer etc. sowie beliebige Mischungen, Legierungen dieser Komponenten genannt, die gasförmig, flüssig, als Tinte oder Metall-
10 paste (Metallpartikel in einem flüssigen Medium) und auch als Feststoff aufgebracht werden können.

Bevorzugte organische Materialien, die sich eben auch mit einer unteren leitfähigen Schicht, beispielsweise aus Metall kombinieren lassen, sind PANI, PEDOT und Carbon Black.
15

"Modifiziert" wird hier gebraucht für Bereiche einer unteren Schicht oder eines Substrats, die durch Laserbehandlung verändert sind.
20

Im folgenden wird die Erfindung noch anhand dreier Figuren näher erläutert, die beispielhaft und schematisch wiedergeben, wie im Querschnitt gesehen erfindungsgemäß eine Leiterbahn/Elektrode hergestellt wird.
25

Bilder A bis C zeigen ein Substrat und/oder eine untere Schicht, die durch ein Verfahren nach der Erfindung behandelt werden:
30

A1, B1 und C1 zeigen ein gereinigtes Substrat oder eine gereinigte untere Schicht. Diese wird zunächst durch Laserbehandlung so modifiziert, dass ein Bereich mit einer modifizierten und/oder aufgerauten Oberfläche und/oder eine Vertiefung entsteht (Figuren A2, B2 und C2). Möglich ist auch, dass
35 durch die Behandlung mit Laser eine vorhandene Rauigkeit der Oberfläche beseitigt wird und der modifizierte Bereich dem-

nach eine geringere Rauhigkeit hat als der nicht durch Laserbehandlung modifizierte.

5 Gemäß den Figuren A2, B2 und C2 ist jedoch die Rauhigkeit der modifizierten Bereiche größer als die der nicht modifizierten.

Im folgenden Prozessschritt A3, B3 und C3 wird großflächig leitfähiges Material aufgebracht.

10

Danach wird das überschüssige Material entfernt, es bilden sich bevorzugt scharf abgezeichnete Bereiche in denen leitfähiges Material ein- und/oder aufgebracht ist und andere, die frei von leitfähigem Material sind siehe Figur A4.

15

20 Gemäß der Ausführungsform B wird im Prozessschritt B4 auf die noch unstrukturierte hochleitfähige, beispielsweise metallische Schicht noch eine weitere leitfähige Schicht, beispielsweise aus organischem Material oder Funktionspolymer aufgebracht (Y). Diese kann nun mechanisch entfernt werden (B5). Falls die hochleitfähige Schicht nicht mechanisch entfernt (strukturiert) werden kann, wird nach dem Prozessschritt B5 eine andersartige (z.B. chemische) Methode gewählt, um die hochleitfähige Schicht zu strukturieren. Die hochleitfähige Schicht (x) wird an den "modifizierten" oder aufgerauten Stellen bedeckt und kann hier nicht entfernt werden (B5). Nach der chemischen Strukturierung (z.B. ein Ätzprozess) liegt in (B6) die Kombination der hochleitfähigen (beispielsweise metallischen) und der leitfähigen (beispielsweise polymeren) Schicht in strukturierter Form vor.

30

Bei C4 wird ebenfalls eine weitere leitfähige Schicht aufgebracht und anschließend werden beide leitfähigen Schichten mechanische strukturiert (C5).

35

Mit dem Prozess nach der Erfindung können leitfähige Strukturen hergestellt werden, die:

- aus mehreren Schichten (versch. Leitfähigkeit) bestehen um z.B. die passende Austrittsarbeit zu gewährleisten.
- hochleitfähig bzw. im „Paket“ hochleitfähig sind.
- 5 - kostengünstig sind, da nur wenige (3,4,5) Prozessschritte benötigt werden.
- die benötigte Auflösung haben (möglichst kleine Struktur)
- die auf einem massenfertigungstauglichen und schnellen Prozess basieren.

10

Die Vorteile liegen auch in der einfachen Herstellungsmethode da nur 3 Prozessschritte benötigt werden (z.B. Laserstrukturierung , leitfähige Schicht aufbringen, Strukturierung der leitfähigen Schicht). Beispielsweise können durch die Verwen-

15 dung von metallischen Leitern (fest oder flüssig) wiederum beispielsweise in Kombination mit weiteren Leitern aus organischem Material sehr hoch leitfähige kleine Strukturen erstellt werden, ohne das ein Spannungsabfall in den Leiterbahnen problematisch wird. Zusätzlich kann die Austrittsarbeit

20 angepasst werden. Mit Verwendung dieser Technik kann die Schaltungsgröße minimiert werden, wodurch sich ebenfalls die Kosten in gleichem Maße reduzieren.

Das Substrat wird beispielsweise im Rolle-zu-Rolle-Verfahren

25 zwischen mehreren Walzen hindurchgezogen. Im ersten Arbeitsgang werden dann mit einem Laser, beispielsweise einem Excimer-Laser, durch eine Maske Vertiefungen und/oder modifizierte oder aufgeraute Bereiche im Substrat oder einer unteren Schicht erzeugt. Der Excimer-Laser ist gegebenenfalls mit op-

30 tischen Linsensystemen ausgestattet, so dass die Vertiefungen/Bereiche nicht unbedingt in derselben Größe abgebildet werden wie die Maske sie vorgibt.

Bei der mechanischen Strukturierung wird eventuell vorhandenes leitfähiges Material zwischen den Vertiefungen/Bereichen

35 beispielsweise mit einer saugfähigen Rolle im roll-to-roll

Verfahren entfernt. Die Rolle dreht sich beispielsweise langsamer als die anderen Rollen, so dass effektiv gewischt wird.

Der Begriff "organisches Material" oder "Funktionsmaterial" oder "(Funktions-)Polymer" umfasst hier alle Arten von organischen, metallorganischen und/oder organisch-anorganischen Kunststoffen (Hybride), insbesondere die, die im Englischen z.B. mit "plastics" bezeichnet werden. Es handelt sich um alle Arten von Stoffen mit Ausnahme der Halbleiter, die die klassischen Dioden bilden (Germanium, Silizium). Eine Beschränkung im dogmatischen Sinn auf organisches Material als Kohlenstoff enthaltendes Material ist demnach nicht vorgesehen, vielmehr ist auch an den breiten Einsatz von z.B. Siliconen gedacht. Weiterhin soll der Term keiner Beschränkung im Hinblick auf die Molekülgröße, insbesondere auf polymere und/oder oligomere Materialien unterliegen, sondern es ist durchaus auch der Einsatz von "small molecules" möglich. Der Wortbestandteil "polymer" im Funktionspolymer ist historisch bedingt und enthält insofern keine Aussage über das Vorliegen einer tatsächlich polymeren Verbindung.

Durch die Erfindung wird erstmals ein Verfahren vorgestellt, mit dem ein organisches elektronisches Bauelement wie ein OFET, der durchaus auch metallische Komponenten und Schichten umfassen kann, mit hoher Schaltgeschwindigkeit und hoher Zuverlässigkeit wirtschaftlich hergestellt werden kann. Es hat sich gezeigt, dass Vertiefungen und/oder Bereiche, die mit einem Laser hergestellt werden, die Aufbringung von leitfähigem organischen Material anders halten als die herkömmlichen Vertiefungen/Strukturierungen und, dass deshalb mit dieser Methode Leiterbahnen organische und metallischer Natur schneller und besser herstellbar sind als nach anderen Methoden.

Patentansprüche

1. Elektronisches Bauelement aus vorwiegend organischem Material, ein Substrat, zumindest eine Leiterbahn und/oder Elektrode umfassend, wobei die zumindest eine Leiterbahn und/oder Elektrode aus leitfähigem Material ist und auf einer Auflagefläche aufgebracht ist, deren Oberfläche durch Laserbehandlung modifiziert und/oder aufgeraut ist.
2. Elektronisches Bauteil bei dem zumindest eine Leiterbahn und/oder eine Elektrode in einer Vertiefung einer unteren Schicht angeordnet ist, wobei die Vertiefung mittels eines Lasers erzeugt wurde, das heißt, dass sie steile Wände, scharfe Konturen und eine relativ raue Bodenoberfläche hat.
3. Elektronisches Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem Abstand l zwischen zwei Leiterbahnen, Elektroden und/oder zwischen einer Leiterbahn und einer Elektrode kleiner $10\mu\text{m}$.
4. Elektronisches Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit zumindest einer Leiterbahn und/oder Elektrode aus Metall oder einer Legierung.
5. Elektronisches Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit zumindest einer Leiterbahn und/oder Elektrode, die aus einem Metall in Kombination mit einer Schicht aus organischem Material ist.
6. Verfahren zur Herstellung eines organischen elektronischen Bauteils bei dem zur Herstellung einer Leiterbahn und/oder einer Elektrode eine untere Schicht und/oder das Substrat mit einem Laser behandelt wird, so dass zumindest eine Vertiefung und/oder ein modifizierter Bereich in einer unteren Schicht und/oder dem Substrat zu finden ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die leitfähige Schicht mechanisch strukturiert wird.

5 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, bei dem überflüssiges leitfähiges Material in einem auf das Aufbringen der Schicht aus diesem Material folgenden Prozessschritt abgewischt wird.

10 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem ein gepulster Laser, beispielsweise ein Excimer-Laser eingesetzt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, das in einem kontinuierlichen roll-to-roll Prozess durchgeführt wird.

Zusammenfassung

Organisches elektronisches Bauteil mit hochaufgelöster Strukturierung und Herstellungsverfahren dazu

5

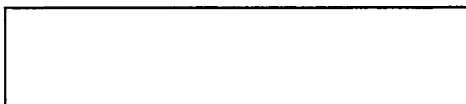
Die Erfindung betrifft ein elektronisches Bauteil aus vorwiegend organischen Materialien mit hochaufgelöster Strukturierung, insbesondere einen organischen Feld-Effekt-Transistor (OFET) mit kleinem Source-Drain-Abstand und ein Herstellungsverfahren dazu. Das organische elektronische Bauteil hat Vertiefungen und/oder modifizierte Bereiche, in denen die Leiterbahnen/Elektroden, die beispielsweise metallisch sein können, angeordnet sind und die bei der Herstellung mittels Laser hergestellt wurden.

15

Figur A

C

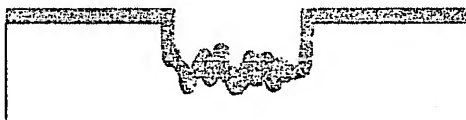
C1



C2



C3



X

C4



Y

X

C5



A

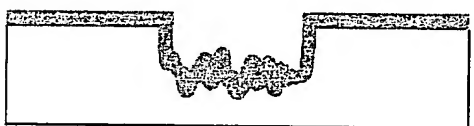
A1



A2

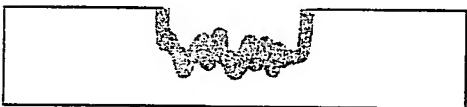


A3



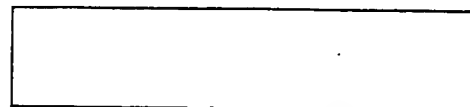
X

A4

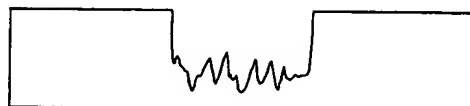


B

B1



B2

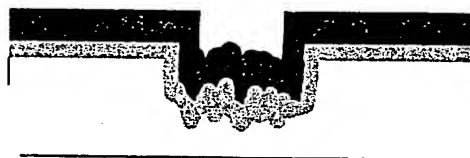


B3



X

B4

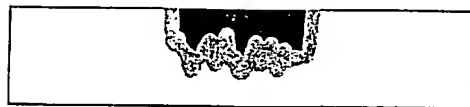


X

B5



B6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.